




Process for determining the state of charge and the peak current loadability of batteries

Patent number: DE19847648
Publication date: 2000-04-20
Inventor: UEBERMEIER DIETER (DE); DIERKER UWE (DE); MICHELS KARSTEN (DE); LAIG-HOERSTEBROCK HELMUT (DE); MEISNER EBERHARD (DE)
Applicant: VOLKSWAGENWERK AG (DE); VB AUTOBATTERIE GMBH (DE)
Classification:
- **International:** G01R31/36
- **European:** G01R31/36M3, G01R31/36V4L
Application number: DE19981047648 19981015
Priority number(s): DE19981047648 19981015

Also published as:

 EP0994362 (A2)
 US6163133 (A1)
 EP0994362 (A3)

Abstract not available for DE19847648

Abstract of correspondent: **US6163133**

In a process for determining the state of charge and the peak current loadability of batteries in the currentless pauses before and after a loading phase the no-load voltages U_{01} and U_{02} are measured. From them, with allowance for battery-specific parameters, especially the time curve of the no-load voltage, the true battery rest voltages U_{001} and U_{002} are computed. During the loading phase the converted current quantity q is measured and from the relationship $U_{002}-U_{001}=C_1 \times q/Q_0$ the acid capacity Q_0 of the battery is found. The relative state of charge SOC_1 is determined from a curve of the rest voltage U_{00} linearized by the formula $SOC_1=U_{002}/C_1-C_2$ as a function of the state of charge of the battery from which the absolute state of charge is calculated as $SOC_1 \times Q_0$. From the internal resistance R_1 , a preassigned temperature and the last determined state of charge, a rest voltage is predicted for a later time from which, with the current necessary for starting the engine known, a pronouncement can be derived concerning the starting capacity of the battery.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 47 648 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
G 01 R 31/36

⑲ Aktenzeichen: 198 47 648.5
⑳ Anmeldetag: 15. 10. 1998
㉔ Offenlegungstag: 20. 4. 2000

⑦① Anmelder:
VB Autobatterie GmbH, 30419 Hannover, DE;
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

⑦④ Vertreter:
Kaiser, D., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 65779 Kelkheim

⑦② Erfinder:
Laig-Hörstebroek, Helmut, Dr., 60320 Frankfurt, DE;
Meißner, Eberhard, Dr., 65719 Hofheim, DE;
Übermeier, Dieter, 30173 Hannover, DE; Michels,
Karsten, 38126 Braunschweig, DE; Dierker, Uwe,
38550 Isenbüttel, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien

⑤⑦ Bei einem Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien werden in den stromlosen Pausen vor und nach einer Belastungsphase die Leerlaufspannungen U_{01} und U_{02} gemessen. Daraus werden unter Berücksichtigung batterie-spezifischer Parameter, insbesondere des zeitlichen Verlaufes der Leerlaufspannung, die echten Batterieruhe-spannungen U_{001} und U_{002} berechnet. Während der Bela-stungsphase wird die umgesetzte Strommenge q gemes-sen und aus der Beziehung $U_{002} - U_{001} = C_1 \cdot q / Q_0$ wird die Säurekapazität Q_0 des Akkumulators ermittelt. Der relative Ladezustand SOC_i wird aus einem durch die Formel $SOC_i = U_{002} / C_1 - C_2$ linearisierten Verlauf der Ruhespan-nung U_{00} in Abhängigkeit vom Ladezustand des Akkumu-lators ermittelt, woraus sich der absolute Ladezustand zu $SOC_i \cdot Q_0$ berechnet.

Aus dem Innenwiderstand R_i , einer vorgegebenen Tem-peratur und dem zuletzt ermittelten Ladezustand wird eine Ruhespannung für einen späteren Zeitpunkt prognos-tiziert, aus der mit dem bekannten zum Start eines Mo-tors notwendigen Strom eine Aussage über die Startfä-higkeit der Batterie abgeleitet wird.

198 47 648 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien.

Für den Anwender von Batterien ist es von besonderer Bedeutung, den Ladezustand und die Hochstrombelastbarkeit der Batterien zu kennen. Beispielsweise sind für die Fähigkeit einer Starterbatterie, ein Kraftfahrzeug mit einem Verbrennungsmotor zu starten, der Ladezustand und der Alterungszustand, bzw. der sich abzeichnende Kapazitätsverfall der Batterie maßgeblich, da dadurch die der Starterbatterie entnehmbare Stromstärke bzw. deren Leistungsabgabe begrenzt wird. Von besonderer Bedeutung ist die Ermittlung des Ladezustandes bzw. der Startfähigkeit einer Batterie in den Fällen, in denen beispielsweise intermittierender Motorbetrieb vorliegt, da dann in den Motorstillstandzeiten das Bordnetz des Fahrzeuges mit seinen Verbrauchern weiter betrieben wird, allerdings der Generator keinen Strom erzeugt. Die Überwachung des Ladezustandes und der Startfähigkeit der Batterie muß in solchen Fällen gewährleisten, daß der Energieinhalt der Batterie stets ausreichend bleibt, um den Motor noch zu starten.

Zur Messung des Ladezustandes von Akkumulatoren sind die verschiedensten Verfahren bekannt. In vielen Fällen werden integrierende Meßgeräte benutzt (Ah-Zähler), wobei der Ladestrom gegebenenfalls unter Bewertung mit einem festen Ladefaktor berücksichtigt wird. Da die nutzbare Kapazität einer Batterie stark von der Größe des Entladestroms und der Temperatur abhängig ist, kann auch mit solchen Verfahren keine zufriedenstellende Aussage über die der Batterie noch entnehmbare nutzbare Kapazität getroffen werden.

Aus der DE-PS 22 42 510 ist es beispielsweise bekannt, bei einem Verfahren zur Messung des Ladezustandes den Ladestrom mit einem von der Temperatur und vom Ladezustand der Batterie selbst abhängigen Faktor zu bewerten.

Der DE-OS 40 07 883 ist ein Verfahren zu entnehmen, bei dem die Startfähigkeit eines Akkumulators durch Messung von Akkumulatortemperatur und Batterietemperatur und Vergleich mit einer für den zu prüfenden Batterietyp geltenden Ladezustandskurvenschar ermittelt wird.

Der DE-OS 195 43 874 ist ein Berechnungsverfahren für die Entladecharakteristik und Restkapazitätsmessung einer Batterie zu entnehmen, bei welchem ebenfalls Strom, Spannung und Temperatur gemessen wird, wobei die Entladungsscharakteristik durch eine mathematische Funktion mit gekrümmter Oberfläche angenähert wird.

Die DE-PS 39 01 680 beschreibt ein Verfahren zur Überwachung der Kaltstartfähigkeit einer Starterbatterie, bei dem die Starterbatterie zeitweise mit einem Widerstand belastet wird, die Spannung die am Widerstand abfällt gemessen wird und daraus im Vergleich mit Erfahrungswerten festgestellt wird, ob die Kaltstartfähigkeit der Batterie noch ausreicht. Zur Belastung der Starterbatterie dient dabei der Anlaßvorgang.

Schließlich ist der DE-OS 43 39 568 ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes einer Kraftfahrzeug-Starterbatterie zu entnehmen, bei dem Batteriestrom und Ruhespannung gemessen werden und aus diesen auf den Ladezustand geschlossen wird, wobei zusätzlich auch die Batterietemperatur berücksichtigt wird. Dabei werden die während verschiedener Zeiträume gemessenen Ladeströme miteinander verglichen und daraus eine Restkapazität ermittelt.

Mit den bekannten Verfahren ist es nicht ohne weiteres möglich, eine in ihrer Genauigkeit ausreichende Angabe des

im Kraftfahrzeug nicht ohne weiteres einsetzbar.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes und der Startfähigkeit einer Starterbatterie für Kraftfahrzeuge anzugeben, welches eine ausreichende praktische Genauigkeit besitzt und auch so einfach ist, daß das Batteriezustands-Erkennungssystem schon nach kurzer Zeit alle notwendigen festen Parameter der funktionalen Abhängigkeiten "gelernt" hat und zur Vorhersage fähig wird.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 genannten Merkmale gelöst. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen dieses Verfahrens angegeben.

Die in Anspruch 1 angegebene Beziehung zwischen Ladezustand SOC (State of Charge) und Ruhespannung U_{00} berücksichtigt die Tatsache, daß die Ruhespannung bei kleinen Ladezuständen zwar nichtlinear mit SOC ansteigt, dann aber in dem für die Praxis relevanten höheren Ladezustandsbereich in einen fast linearen Verlauf übergeht. Verwendet wird deshalb für SOC eine lineare Anpassung an die Ruhespannungs/Ladezustands-Abhängigkeit im Bereich SOC zwischen 0.2 und 1 der Form $SOC = U_{00}/C_1 - C_2$ mit C_1 ca. 1,5 V und C_2 ca. 7,5 (für 6zellige Bleibatterien).

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt in den stromlosen Pausen vor oder nach einer Belastungsphase eine Messung der Leerlaufspannung U_0 des Akkumulators. Daraus wird unter Berücksichtigung batterie-spezifischer Parameter, insbesondere aber des zeitlichen Verlaufs der Leerlaufspannung U_0 eine echte Ruhespannung U_{00} des Akkumulators berechnet. Während der Belastungsphase wird die umgesetzte Strommenge q gemessen und aus dem Quotienten der Differenz der so berechneten Ruhespannungen und dem Ladungsumsatz wird die sogenannte Säurekapazität Q_0 des Akkumulators ermittelt, bzw. es wird die Ladezustandsänderung des Akkumulators erfaßt. Dazu dient die Beziehung

$$U_{002} - U_{001} = C_1 \cdot q/Q_0$$

C_1 ist eine empirisch aus den Systemeigenschaften des Bleiakkumulators ermittelte Größe. Ihr Wert liegt bei üblichen Starterbatterien bei ca. 1,5 V (6zellige Batterie).

Die Säurekapazität Q_0 ist die in elektrischen Äquivalenten ausgedrückte Elektrizitätsmenge, die in der im Akkumulator vorhandenen Schwefelsäure gespeichert ist.

Die während der Belastungsphase umgesetzte Strommenge q wird durch integrierende Messung des Batteriestromes i ermittelt. Die Spannungsmessung in den Ruhepausen der Batterie erfolgt vorzugsweise in vorgegebenen zeitlichen Abständen. Die zeitlichen Abstände werden dabei so gewählt, daß eine ständige Überwachung der Batterie erfolgt, beispielsweise kann die Messung in minütlichen Abständen erfolgen.

Es ist zweckmäßig, alle gemessenen Daten auf eine vorgegebene Temperatur von beispielsweise 25°C zu normieren. Bei der Berechnung der echten Ruhespannung U_{00} aus den gemessenen Leerlaufspannungen wird die Spannungslage, der zeitliche Verlauf der Akkumulatortemperatur und die Dauer der vorhergehenden Ruhepause berücksichtigt. Die echte Ruhespannung wird aus zwei nacheinander in einer Pause gemessenen Ruhespannungen ermittelt. Um bei dieser Berechnung befriedigende Ergebnisse zu erhalten, sollte der erste verwendete Spannungswert nach einem Mindestzeitraum von ca. 2 Stunden gemessen werden und der zweite verwendete Spannungswert nach weiteren ca. 2 Stunden

chen zu können, insbesondere um gegebenenfalls Voraussagen über die zukünftige Startfähigkeit zu machen, wird der Innenwiderstand R_i der Batterie durch eine Hochstrombelastung, beispielsweise beim Startvorgang bestimmt. Aus dem ermittelten Innenwiderstand und den vorher errechneten Batteriedaten läßt sich eine Prognose für die zukünftige Startfähigkeit der Batterie ableiten.

Während der Batterieruhepause erfolgt eine Messung der Leerlaufspannung U_0 der Batterie. Für die Auswertung dieser Leerlaufspannung wird zweckmäßigerweise eine Mindestruhezeit eingehalten, die im Bereich von ca. 4 Stunden liegt. Als Pausenzeit wird dabei ein Zeitraum verstanden, in dem der Strom geringer ist als ca. 0,1A bei einer Batterie 12V/50 Ah. Sobald größere Ströme fließen beginnt die Pausenzeit erneut ab Ende dieser Belastungen.

In den Fällen, in denen U_0 nach mehr als einer Stunde noch größer ist als 13,2 V (6-zellige Batterie), muß keine weitere Messung erfolgen, da davon ausgegangen werden kann, daß ein Volladezustand vorliegt. Wenn die Ruhepause zwischen 4 und 8 Stunden liegt und die Ruhespannung dabei abfällt, ergibt sich die echte Ruhespannung U_{00} aus folgender Beziehung

$$U_{00} = U_0(4h) - \alpha(U_0(2h) - U_0(4h))$$

wobei $\alpha = 2,5 - 3,5$ für $T = 25^\circ\text{C}$

$\alpha = 15 - 20$ für $T = -18^\circ\text{C}$

In allgemeiner Form läßt sich U_{00} aus U_0 gemäß folgender Beziehung ermitteln:

$$U_{00} = U_0(t) + ((\alpha + 2) - \ln(t)/\ln(2))(U_0(t) - U_0(t/2))$$

(mit Zeit t in Stunden)

Will man die Genauigkeit noch steigern, so kann man für α auch noch eine $U_0(t)$ -Abhängigkeit einführen.

Wenn während der Ruhepause die Ruhespannung U_0 ansteigt, ist die Ruhespannungseinstellung nach ca. 4 h im allgemeinen abgeschlossen, d. h.:

$$U_{00} = U_0(t > 4 \text{ h})$$

Da die Bestimmung der echten Ruhespannung U_{00} aus einer Entladung der Batterie heraus im allgemeinen wesentlich genauer ist, als die Messung ausgehend von einer vorhergegangenen Ladung, kann der errechnete Wert der echten Ruhespannung mit einem Gewichtungsfaktor bewertet werden, der für Entladung höher ist als für Ladung.

Vorteilhaft ist es, die gemessenen Spannungswerte stets auf eine bestimmte Temperatur, beispielsweise auf 25°C zu normieren. Diese Normierung erfolgt nach der Formel

$$U_{00}(25^\circ\text{C}) = U_{00}(T) - (T - 25^\circ\text{C}) \cdot \beta$$

Der Faktor $\beta = \approx 0,0014 \text{ V/Grad}$ gilt für eine 6-zellige Bleistarterbatterie. Er ist mit steigender Zellenzahl proportional zu erhöhen bzw. zu erniedrigen.

Die aus der jeweils letzten Messung berechnete Leerlaufspannung U_{00} ist ein Maß für den relativen Ladezustand SOC (State of Charge) der Batterie, wobei:

$$\text{SOC} = U_{00}(25^\circ\text{C})/C_1 - C_2$$

Aus zwei so bestimmten Ruhespannungen und der im zwischenliegenden Zeitraum dem Akkumulator entnommenen bzw. in den Akkumulator eingeladenen Elektrizitätsmenge $q = \int i dt$ läßt sich die Säurekapazität Q_0 des Akkumu-

$$Q_0 = C_1 \cdot q/(U_{002} - U_{001})$$

aus den gemessenen Werten ergibt, ist das Kapazitätsäquivalent der bei Nichtbegrenzung durch die Batterie-Elektrode bei der Entladung theoretisch im Bleiakku umsetzbaren Schwefelsäuremenge. Der Wert von C_1 liegt bei ca. 1,5 V und der Wert von C_2 bei ca. 7,5 bei einer 6zelligen Batterie.

Der absolute Ladezustand der Batterie in Ampere Sekunden zu diesem Zeitpunkt ergibt sich aus $\text{SOC} \cdot Q_0$.

Um aus den bisher ermittelten Werten zusätzlich noch Prognosen über die Startfähigkeit der Batterie zu einem späteren Zeitpunkt machen zu können, muß ergänzend noch der Innenwiderstand R_i der Batterie gemessen werden.

Der Innenwiderstand der Batterie ergibt sich durch eine Spannungs- und Strommessung bei hoher Belastung. Dazu dient insbesondere eine Spannungs- und Strommessung bei einem Startvorgang.

Beispielsweise ergibt sich R_i aus

$$R_i = (U_{\text{Last}} - U_0)/(I_{\text{Last}} - I_0)$$

wobei U_0 die zuletzt gemessene Ruhespannung und I_0 der zuletzt gemessene Grundstrom, verursacht durch andere Verbraucher, wie Fahrzeugbeleuchtung etc., sind.

Der Verlauf des Innenwiderstandes einer Starterbatterie in Abhängigkeit vom Ladezustand ist für Ladezustände von mehr als 50% praktisch konstant, steigt aber bei geringen Ladezuständen stark an. Um diesen Verlauf bei der Feststellung der Startfähigkeit des Akkumulators zu berücksichtigen, wird der Innenwiderstand R_i aus zwei Teilen zusammengesetzt: einem vom Ladezustand fast unabhängigen nur temperaturabhängigen Teil R_1 und einem für $\text{SOC} < 0,5$ stark mit SOC veränderlichen Anteil R_2 .

$$R_i = R_1(T) + R_2(\text{SOC})$$

Wenn der Ladezustand größer ist als 50%, erfolgt die Bestimmung von R_1 aus:

$$R_1 = R_i$$

Wenn der Ladezustand kleiner ist als 50%, erfolgt die Bestimmung von R_2

$$R_2 = R_i - R_1$$

Für R_2 hat sich eine Form $R_2 = \exp(-b(\text{SOC} - \text{SOC}_{gr}))$ bewährt mit $b \approx 21$. SOC_{gr} wird daraus ermittelt.

Wenn beispielsweise die Ermittlung des Ladezustandes mit einer neuen Batterie begonnen werden soll, so muß zuerst eine Annahme über die Kapazität der Starterbatterie, beispielsweise 60 Ah, und über den Grenz-SOC_{gr} z. B. 0,2 und über den Innenwiderstand (beispielsweise 14 mΩ) gemacht werden. Aus der Anfangsruhespannung U_{00} wird der Ladezustand wie oben erläutert berechnet.

Aus dem ersten Startvorgang wird der Innenwiderstand R_i und der Ladezustand SOC ermittelt. Diese Werte werden, wenn sie zu einem späteren Zeitpunkt neu bestimmt werden, nicht voll übernommen, sondern der letzte Wert wird je nach Qualität der neuen Messung korrigiert. Je größer die zwischen den Pausen eingeladene oder entnommene Kapazitätsmenge ist, desto genauer kann die Säurekapazität ermittelt werden und um so eher kann der neue Wert voll übernommen werden. Zweckmäßig ist es den neu ermittelten Innenwiderstand fest, z. B. mit 10% der Abweichung, zu übernehmen. Wenn die Auswertung der echten Ruhespannung

mung und der gemessenen Ladezustandsänderung, wird zur Sicherheit und aus Plausibilitätsgründen nicht der volle aus U_{00} berechnete SOC-Wert übernommen, sondern ein korrigierter Wert.

Aus den erfindungsgemäßen Zusammenhängen läßt sich eine Prognose über die Wiederstartfähigkeit einer Batterie, beispielsweise nach längerer Ruhepause, abgeben. Dies ist beispielsweise sinnvoll, wenn ein Fahrzeug im Winter abends abgestellt wird und bei entsprechend tiefer Außentemperatur ermittelt werden soll, ob die Batterie noch in der Lage ist, daß Fahrzeug am nächsten Morgen bei gegebenenfalls anderen Temperaturen sicher zu starten.

Zur Lösung dieser Prognoseaufgabe wird aus den im System gespeicherten Minimumaußentemperaturen der letzten drei Tage ein T_M aus

$$T_M = \text{Min}(T_{\min}) - 10^\circ\text{C}$$

gebildet. Die zusätzliche Erniedrigung um weitere 10°C ist ein Sicherheitsfaktor und kann je nach den klimatischen Verhältnissen des Standortes angepaßt werden.

Aus dem bekannten letzten Ladezustand (SOC_j) und der zuletzt bestimmten Ladezustandsänderung q/Q_0 wird ein Ladezustand SOC gebildet durch

$$\text{SOC} = \text{SOC}_j + q/Q_0$$

Aus SOC wird wie oben erwähnt U_{00} für die angenommene Temperatur ermittelt.

Damit ist die zu erwartende Ruhespannung für den prognostizierten Startvorgang bekannt. Aus der bereits erläuterten Abhängigkeit von Innenwiderstand R_i und Ladezustand SOC wird der zum Startzeitpunkt zu erwartende Innenwiderstand berechnet.

Unter Annahme des notwendigen Startstromes I_{start} für einen kalten Motor ergibt sich damit eine prognostizierte Startspannung $U_{\text{start}} = U_{00} - R_i \times I_{\text{start}}$. Aus dieser Beziehung heraus kann festgestellt werden, ob die Startspannung, die zu erwarten ist, noch größer ist als eine vorgegebene Spannung. Wenn die Startspannung größer ist als diese vorgegebene Spannung kann am nächsten Morgen der Motor noch sicher gestartet werden, ist die Spannung allerdings kleiner, so ist keine ausreichende Sicherheit mehr gegeben und die Batterie muß geladen werden. Mit dieser Berechnungsmethode ist es nicht nur möglich eine Wiederstartfähigkeit der Batterie zu prognostizieren, sondern auch während des laufenden Betriebs kann, beispielsweise bei Fahrzeugen mit intermittierenden Motorbetrieb, der Zeitpunkt des Wiederstartens des Motors festgelegt werden.

Die für das beschriebene Verfahren notwendigen Ausgangsmeßwerte (U_0 , T , I) lassen sich im Kraftfahrzeug leicht ermitteln. Diese Daten können in an sich bekannten elektronischen Meßwertverarbeitungssystemen ausgewertet werden und entsprechende Anzeigen im Kraftfahrzeug ansteuern.

aus einer Beziehung der Form $U_{002} - U_{001} = C_1 q/Q_0$ die Säurekapazität Q_0 des Akkumulators ermittelt wird und daß der relative Ladezustand SOC_j aus einem durch die Formel $\text{SOC}_j = U_{002} / (C_1 - C_2)$ linearisierten Verlauf der Ruhespannung U_{00} in Abhängigkeit vom Ladezustand des Akkumulators ermittelt wird, woraus sich der absolute Ladezustand als $\text{SOC}_j \cdot Q_0$ berechnet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Berechnung der echten Ruhespannung U_{00} aus der gemessenen Ruhespannung U_0 , die Spannungslage, der zeitliche Spannungsverlauf und die Dauer der Ruhepause berücksichtigt wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Ruhespannung U_0 während der Ruhepausen in festen vorgegebenen Abständen erfolgt.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die berechneten echten Ruhespannungswerte U_{00} durch Korrekturfaktoren auf eine vorgegebene Temperatur normiert werden.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die echte Ruhespannung U_{00} aus Messungen der Leerlaufspannung U_0 nach einer Mindestruhezeit von ca. 2 Stunden erfolgt.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine Hochstrombelastung des Akkumulators der Innenwiderstand R_i als Quotient aus den Differenzen der Spannungen und der Ströme vor und während der Hochstrombelastung ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Innenwiderstand R_i , einer vorgegebenen Temperatur und dem zuletzt ermittelten Ladezustand eine Ruhespannung für einen späteren Zeitpunkt prognostiziert wird, aus der mit dem bekannten zum Start des Motors notwendigen Strom eine Aussage über die Startfähigkeit der Batterie abgeleitet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den stromlosen Pausen vor und nach einer Belastungsphase die Leerlaufspannungen U_{01} und U_{02} gemessen werden, daß daraus unter Berücksichtigung batteriespezifischer Parameter, insbesondere des zeitlichen Verlaufes der Leerlaufspannung die echte Batterieruhespannungen U_{001} und U_{002}



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 47 648 A 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
G 01 R 31/36

⑳ Aktenzeichen: 198 47 648.5
㉔ Anmeldetag: 15. 10. 1998
㉕ Offenlegungstag: 20. 4. 2000

㉚ Anmelder:
VB Autobatterie GmbH, 30419 Hannover, DE;
Volkswagen AG, 38440 Wolfsburg, DE

㉛ Vertreter:
Kaiser, D., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 65779 Kelkheim

㉞ Erfinder:
Laig-Hörstebroek, Helmut, Dr., 60320 Frankfurt, DE;
Meißner, Eberhard, Dr., 65719 Hofheim, DE;
Übermeier, Dieter, 30173 Hannover, DE; Michels,
Karsten, 38126 Braunschweig, DE; Dierker, Uwe,
38550 Isenbüttel, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤④ Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien

⑤⑦ Bei einem Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien werden in den stromlosen Pausen vor und nach einer Belastungsphase die Leerlaufspannungen U_{01} und U_{02} gemessen. Daraus werden unter Berücksichtigung batterie-spezifischer Parameter, insbesondere des zeitlichen Verlaufes der Leerlaufspannung, die echten Batterieruhe-spannungen U_{001} und U_{002} berechnet. Während der Bela-stungsphase wird die umgesetzte Strommenge q gemes-sen und aus der Beziehung $U_{002} - U_{001} = C_1 \cdot q / Q_0$ wird die Säurekapazität Q_0 des Akkumulators ermittelt. Der relati-ve Ladezustand SOC_j wird aus einem durch die Formel $SOC_j = U_{002} / C_1 - C_2$ linearisierten Verlauf der Ruhespan-nung U_{00} in Abhängigkeit vom Ladezustand des Akkumu-lators ermittelt, woraus sich der absolute Ladezustand zu $SOC_j \cdot Q_0$ berechnet.

Aus dem Innenwiderstand R_i , einer vorgegebenen Tem-peratur und dem zuletzt ermittelten Ladezustand wird eine Ruhespannung für einen späteren Zeitpunkt prognos-tiziert, aus der mit dem bekannten zum Start eines Mo-tors notwendigen Strom eine Aussage über die Startfä-higkeit der Batterie abgeleitet wird.

198 47 648 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien.

Für den Anwender von Batterien ist es von besonderer Bedeutung, den Ladezustand und die Hochstrombelastbarkeit der Batterien zu kennen. Beispielsweise sind für die Fähigkeit einer Starterbatterie, ein Kraftfahrzeug mit einem Verbrennungsmotor zu starten, der Ladezustand und der Alterungszustand, bzw. der sich abzeichnende Kapazitätsverfall der Batterie maßgeblich, da dadurch die der Starterbatterie entnehmbare Stromstärke bzw. deren Leistungsabgabe begrenzt wird. Von besonderer Bedeutung ist die Ermittlung des Ladezustandes bzw. der Startfähigkeit einer Batterie in den Fällen, in denen beispielsweise intermittierender Motorbetrieb vorliegt, da dann in den Motorstillstandzeiten das Bordnetz des Fahrzeuges mit seinen Verbrauchern weiter betrieben wird, allerdings der Generator keinen Strom erzeugt. Die Überwachung des Ladezustandes und der Startfähigkeit der Batterie muß in solchen Fällen gewährleisten, daß der Energieinhalt der Batterie stets ausreichend bleibt, um den Motor noch zu starten.

Zur Messung des Ladezustandes von Akkumulatoren sind die verschiedensten Verfahren bekannt. In vielen Fällen werden integrierende Meßgeräte benutzt (Ah-Zähler), wobei der Ladestrom gegebenenfalls unter Bewertung mit einem festen Ladefaktor berücksichtigt wird. Da die nutzbare Kapazität einer Batterie stark von der Größe des Entladestroms und der Temperatur abhängig ist, kann auch mit solchen Verfahren keine zufriedenstellende Aussage über die der Batterie noch entnehmbare nutzbare Kapazität getroffen werden.

Aus der DE-PS 22 42 510 ist es beispielsweise bekannt, bei einem Verfahren zur Messung des Ladezustandes den Ladestrom mit einem von der Temperatur und vom Ladezustand der Batterie selbst abhängigen Faktor zu bewerten.

Der DE-OS 40 07 883 ist ein Verfahren zu entnehmen, bei dem die Startfähigkeit eines Akkumulators durch Messung von Akkumulatorspannung und Batterietemperatur und Vergleich mit einer für den zu prüfenden Batterietyp geltenden Ladezustandskurvenschar ermittelt wird.

Der DE-OS 195 43 874 ist ein Berechnungsverfahren für die Entladecharakteristik und Restkapazitätsmessung einer Batterie zu entnehmen, bei welchem ebenfalls Strom, Spannung und Temperatur gemessen wird, wobei die Entladungsscharakteristik durch eine mathematische Funktion mit gekrümmter Oberfläche angenähert wird.

Die DE-PS 39 01 680 beschreibt ein Verfahren zur Überwachung der Kaltstartfähigkeit einer Starterbatterie, bei dem die Starterbatterie zeitweise mit einem Widerstand belastet wird, die Spannung die am Widerstand abfällt gemessen wird und daraus im Vergleich mit Erfahrungswerten festgestellt wird, ob die Kaltstartfähigkeit der Batterie noch ausreicht. Zur Belastung der Starterbatterie dient dabei der Anlaßvorgang.

Schließlich ist der DE-OS 43 39 568 ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes einer Kraftfahrzeug-Starterbatterie zu entnehmen, bei dem Batteriestrom und Ruhespannung gemessen werden und aus diesen auf den Ladezustand geschlossen wird, wobei zusätzlich auch die Batterietemperatur berücksichtigt wird. Dabei werden die während verschiedener Zeiträume gemessenen Ladeströme miteinander verglichen und daraus eine Restkapazität ermittelt.

Mit den bekannten Verfahren ist es nicht ohne weiteres möglich, eine in ihrer Genauigkeit ausreichende Angabe des

im Kraftfahrzeug nicht ohne weiteres einsetzbar.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Ermittlung des Ladezustandes und der Startfähigkeit einer Starterbatterie für Kraftfahrzeuge anzugeben, welches eine ausreichende praktische Genauigkeit besitzt und auch so einfach ist, daß das Batteriezustands-Erkennungssystem schon nach kurzer Zeit alle notwendigen festen Parameter der funktionalen Abhängigkeiten "gelernt" hat und zur Vorhersage fähig wird.

Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs genannten Art durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 genannten Merkmale gelöst. In den Unteransprüchen sind vorteilhafte Ausgestaltungen dieses Verfahrens angegeben.

Die in Anspruch 1 angegebene Beziehung zwischen Ladezustand SOC (State of Charge) und Ruhespannung U_{00} berücksichtigt die Tatsache, daß die Ruhespannung bei kleinen Ladezuständen zwar nichtlinear mit SOC ansteigt, dann aber in dem für die Praxis relevanten höheren Ladezustandsbereich in einen fast linearen Verlauf übergeht. Verwendet wird deshalb für SOC eine lineare Anpassung an die Ruhespannungs/Ladezustands-Abhängigkeit im Bereich SOC zwischen 0.2 und 1 der Form $SOC = U_{00}/C_1 - C_2$ mit C_1 ca. 1,5 V und C_2 ca. 7,5 (für 6zellige Bleibatterien).

Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgt in den stromlosen Pausen vor oder nach einer Belastungsphase eine Messung der Leerlaufspannung U_0 des Akkumulators. Daraus wird unter Berücksichtigung batteriespezifischer Parameter, insbesondere aber des zeitlichen Verlaufs der Leerlaufspannung U_0 eine echte Ruhespannung U_{00} des Akkumulators berechnet. Während der Belastungsphase wird die umgesetzte Strommenge q gemessen und aus dem Quotienten der Differenz der so berechneten Ruhespannungen und dem Ladungsumsatz wird die sogenannte Säurekapazität Q_0 des Akkumulators ermittelt, bzw. es wird die Ladezustandsänderung des Akkumulators erfaßt. Dazu dient die Beziehung

$$U_{002} - U_{001} = C_1 \cdot q/Q_0$$

C_1 ist eine empirisch aus den Systemeigenschaften des Bleiakkumulators ermittelte Größe. Ihr Wert liegt bei üblichen Starterbatterien bei ca. 1,5 V (6zellige Batterie).

Die Säurekapazität Q_0 ist die in elektrischen Äquivalenten ausgedrückte Elektrizitätsmenge, die in der im Akkumulator vorhandenen Schwefelsäure gespeichert ist.

Die während der Belastungsphase umgesetzte Strommenge q wird durch integrierende Messung des Batteriestromes i ermittelt. Die Spannungsmessung in den Ruhepausen der Batterie erfolgt vorzugsweise in vorgegebenen zeitlichen Abständen. Die zeitlichen Abstände werden dabei so gewählt, daß eine ständige Überwachung der Batterie erfolgt, beispielsweise kann die Messung in minütlichen Abständen erfolgen.

Es ist zweckmäßig, alle gemessenen Daten auf eine vorgegebene Temperatur von beispielsweise 25°C zu normieren. Bei der Berechnung der echten Ruhespannung U_{00} aus den gemessenen Leerlaufspannungen wird die Spannungslage, der zeitliche Verlauf der Akkumulatorspannung und die Dauer der vorhergehenden Ruhepause berücksichtigt. Die echte Ruhespannung wird aus zwei nacheinander in einer Pause gemessenen Ruhespannungen ermittelt. Um bei dieser Berechnung befriedigende Ergebnisse zu erhalten, sollte der erste verwendete Spannungswert nach einem Mindestzeitraum von ca. 2 Stunden gemessen werden und der zweite verwendete Spannungswert nach weiteren ca. 2 Stunden

chen zu können, insbesondere um gegebenenfalls Voraussagen über die zukünftige Startfähigkeit zu machen, wird der Innenwiderstand R_i der Batterie durch eine Hochstrombelastung, beispielsweise beim Startvorgang bestimmt. Aus dem ermittelten Innenwiderstand und den vorher errechneten Batteriedaten läßt sich eine Prognose für die zukünftige Startfähigkeit der Batterie ableiten.

Während der Batterieruhepause erfolgt eine Messung der Leerlaufspannung U_0 der Batterie. Für die Auswertung dieser Leerlaufspannung wird zweckmäßigerweise eine Mindestruhezeit eingehalten, die im Bereich von ca. 4 Stunden liegt. Als Pausenzeit wird dabei ein Zeitraum verstanden, in dem der Strom geringer ist als ca. 0,1 A bei einer Batterie 12V/50 Ah. Sobald größere Ströme fließen beginnt die Pausenzeit erneut ab Ende dieser Belastungen.

In den Fällen, in denen U_0 nach mehr als einer Stunde noch größer ist als 13,2 V (6-zellige Batterie), muß keine weitere Messung erfolgen, da davon ausgegangen werden kann, daß ein Volladezustand vorliegt. Wenn die Ruhepause zwischen 4 und 8 Stunden liegt und die Ruhespannung dabei abfällt, ergibt sich die echte Ruhespannung U_{00} aus folgender Beziehung

$$U_{00} = U_0(4h) - \alpha(U_0(2h) - U_0(4h))$$

wobei $\alpha = 2,5 - 3,5$ für $T = 25^\circ\text{C}$

$\alpha = 15 - 20$ für $T = -18^\circ\text{C}$

In allgemeiner Form läßt sich U_{00} aus U_0 gemäß folgender Beziehung ermitteln:

$$U_{00} = U_0(t) + ((\alpha + 2) - \ln(t)/\ln(2))(U_0(t) - U_0(t/2))$$

(mit Zeit t in Stunden)

Will man die Genauigkeit noch steigern, so kann man für α auch noch eine $U_0(t)$ -Abhängigkeit einführen.

Wenn während der Ruhepause die Ruhespannung U_0 ansteigt, ist die Ruhespannungseinstellung nach ca. 4 h im allgemeinen abgeschlossen, d. h.:

$$U_{00} = U_0(t > 4 \text{ h})$$

Da die Bestimmung der echten Ruhespannung U_{00} aus einer Entladung der Batterie heraus im allgemeinen wesentlich genauer ist, als die Messung ausgehend von einer vorhergegangenen Ladung, kann der errechnete Wert der echten Ruhespannung mit einem Gewichtungsfaktor bewertet werden, der für Entladung höher ist als für Ladung.

Vorteilhaft ist es, die gemessenen Spannungswerte stets auf eine bestimmte Temperatur, beispielsweise auf 25°C zu normieren. Diese Normierung erfolgt nach der Formel

$$U_{00}(25^\circ\text{C}) = U_{00}(T) - (T - 25^\circ\text{C}) \cdot \beta$$

Der Faktor $\beta = \approx 0,0014 \text{ V/Grad}$ gilt für eine 6-zellige Bleistarterbatterie. Er ist mit steigender Zellenzahl proportional zu erhöhen bzw. zu erniedrigen.

Die aus der jeweils letzten Messung berechnete Leerlaufspannung U_{00} ist ein Maß für den relativen Ladezustand SOC (State of Charge) der Batterie, wobei:

$$\text{SOC} = U_{00}(25^\circ\text{C})/C_1 - C_2$$

Aus zwei so bestimmten Ruhespannungen und der im zwischenliegenden Zeitraum dem Akkumulator entnommenen bzw. in den Akkumulator eingeladenen Elektrizitätsmenge q läßt sich die Säurekapazität Q_0 des Akkumu-

$$Q_0 = C_1 \cdot q/(U_{002} - U_{001})$$

aus den gemessenen Werten ergibt, ist das Kapazitätsäquivalent der bei Nichtbegrenzung durch die Batterie-Elektrode bei der Entladung theoretisch im Bleiakku umsetzbaren Schwefelsäuremenge. Der Wert von C_1 liegt bei ca. 1,5 V und der Wert von C_2 bei ca. 7,5 bei einer 6zelligen Batterie.

Der absolute Ladezustand der Batterie in Amperesekunden zu diesem Zeitpunkt ergibt sich aus $\text{SOC} \cdot Q_0$.

Um aus den bisher ermittelten Werten zusätzlich noch Prognosen über die Startfähigkeit der Batterie zu einem späteren Zeitpunkt machen zu können, muß ergänzend noch der Innenwiderstand R_i der Batterie gemessen werden.

Der Innenwiderstand der Batterie ergibt sich durch eine Spannungs- und Strommessung bei hoher Belastung. Dazu dient insbesondere eine Spannungs- und Strommessung bei einem Startvorgang.

Beispielsweise ergibt sich R_i aus

$$R_i = (U_{\text{Last}} - U_0)/(I_{\text{Last}} - I_0)$$

wobei U_0 die zuletzt gemessene Ruhespannung und I_0 der zuletzt gemessene Grundstrom, verursacht durch andere Verbraucher, wie Fahrzeugbeleuchtung etc., sind.

Der Verlauf des Innenwiderstandes einer Starterbatterie in Abhängigkeit vom Ladezustand ist für Ladezustände von mehr als 50% praktisch konstant, steigt aber bei geringen Ladezuständen stark an. Um diesen Verlauf bei der Feststellung der Startfähigkeit des Akkumulators zu berücksichtigen, wird der Innenwiderstand R_i aus zwei Teilen zusammengesetzt: einem vom Ladezustand fast unabhängigen nur temperaturabhängigen Teil R_1 und einem für $\text{SOC} < 0,5$ stark mit SOC veränderlichen Anteil R_2 .

$$R_i = R_1(T) + R_2(\text{SOC})$$

Wenn der Ladezustand größer ist als 50%, erfolgt die Bestimmung von R_1 aus:

$$R_1 = R_i$$

Wenn der Ladezustand kleiner ist als 50%, erfolgt die Bestimmung von R_2

$$R_2 = R_i - R_1$$

Für R_2 hat sich eine Form $R_2 = \exp(-b(\text{SOC} - \text{SOC}_{gr}))$ bewährt mit $b \approx 21$. SOC_{gr} wird daraus ermittelt.

Wenn beispielsweise die Ermittlung des Ladezustandes mit einer neuen Batterie begonnen werden soll, so muß zuerst eine Annahme über die Kapazität der Starterbatterie, beispielsweise 60 Ah, und über den Grenz-SOC_{gr} z. B. 0,2 und über den Innenwiderstand (beispielsweise 14 mΩ) gemacht werden. Aus der Anfangsruhespannung U_{00} wird der Ladezustand wie oben erläutert berechnet.

Aus dem ersten Startvorgang wird der Innenwiderstand R_i und der Ladezustand SOC ermittelt. Diese Werte werden, wenn sie zu einem späteren Zeitpunkt neu bestimmt werden, nicht voll übernommen, sondern der letzte Wert wird je nach Qualität der neuen Messung korrigiert. Je größer die zwischen den Pausen eingeladene oder entnommene Kapazitätsmenge ist, desto genauer kann die Säurekapazität ermittelt werden und um so eher kann der neue Wert voll übernommen werden. Zweckmäßig ist es den neu ermittelten Innenwiderstand fest, z. B. mit 10% der Abweichung, zu übernehmen. Wenn die Auswertung der echten Ruhespannung

mung und der gemessenen Ladezustandsänderung, wird zur Sicherheit und aus Plausibilitätsgründen nicht der volle aus U_{00} berechnete SOC-Wert übernommen, sondern ein korrigierter Wert.

Aus den erfindungsgemäßen Zusammenhängen läßt sich eine Prognose über die Wiederstartfähigkeit einer Batterie, beispielsweise nach längerer Ruhepause, abgeben. Dies ist beispielsweise sinnvoll, wenn ein Fahrzeug im Winter abends abgestellt wird und bei entsprechend tiefer Außentemperatur ermittelt werden soll, ob die Batterie noch in der Lage ist, daß Fahrzeug am nächsten Morgen bei gegebenenfalls anderen Temperaturen sicher zu starten.

Zur Lösung dieser Prognoseaufgabe wird aus den im System gespeicherten Minimumaußentemperaturen der letzten drei Tage ein T_M aus

$$T_M = \text{Min}(T_{\min}) - 10^\circ\text{C}$$

gebildet. Die zusätzliche Erniedrigung um weitere 10°C ist ein Sicherheitsfaktor und kann je nach den klimatischen Verhältnissen des Standortes angepaßt werden.

Aus dem bekannten letzten Ladezustand (SOC_j) und der zuletzt bestimmten Ladezustandsänderung q/Q_0 wird ein Ladezustand SOC gebildet durch

$$\text{SOC} = \text{SOC}_j + q/Q_0$$

Aus SOC wird wie oben erwähnt U_{00} für die angenommene Temperatur ermittelt.

Damit ist die zu erwartende Ruhespannung für den prognostizierten Startvorgang bekannt. Aus der bereits erläuterten Abhängigkeit von Innenwiderstand R_i und Ladezustand SOC wird der zum Startzeitpunkt zu erwartende Innenwiderstand berechnet.

Unter Annahme des notwendigen Startstromes I_{start} für einen kalten Motor ergibt sich damit eine prognostizierte Startspannung $U_{\text{start}} = U_{00} - R_i \times I_{\text{start}}$. Aus dieser Beziehung heraus kann festgestellt werden, ob die Startspannung, die zu erwarten ist, noch größer ist als eine vorgegebene Spannung. Wenn die Startspannung größer ist als diese vorgegebene Spannung kann am nächsten Morgen der Motor noch sicher gestartet werden, ist die Spannung allerdings kleiner, so ist keine ausreichende Sicherheit mehr gegeben und die Batterie muß geladen werden. Mit dieser Berechnungsmethode ist es nicht nur möglich eine Wiederstartfähigkeit der Batterie zu prognostizieren, sondern auch während des laufenden Betriebs kann, beispielsweise bei Fahrzeugen mit intermittierenden Motorbetrieb, der Zeitpunkt des Wiederstartens des Motors festgelegt werden.

Die für das beschriebene Verfahren notwendigen Ausgangsmeßwerte (U_0 , T , I) lassen sich im Kraftfahrzeug leicht ermitteln. Diese Daten können in an sich bekannten elektronischen Meßwertverarbeitungssystemen ausgewertet werden und entsprechende Anzeigen im Kraftfahrzeug ansteuern.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung des Ladezustandes und der Hochstrombelastbarkeit von Batterien, **dadurch gekennzeichnet**, daß in den stromlosen Pausen vor und nach einer Belastungsphase die Leerlaufspannungen U_{01} und U_{02} gemessen werden, daß daraus unter Berücksichtigung batteriespezifischer Parameter, insbesondere des zeitlichen Verlaufes der Leerlaufspannung die echte Batterieruhespannungen U_{001} und U_{002}

aus einer Beziehung der Form $U_{002} - U_{001} = C_1 q/Q_0$ die Säurekapazität Q_0 des Akkumulators ermittelt wird und daß der relative Ladezustand SOC_j aus einem durch die Formel $\text{SOC}_j = U_{002} / C_1 - C_2$ linearisierten Verlauf der Ruhespannung U_{00} in Abhängigkeit vom Ladezustand des Akkumulators ermittelt wird, woraus sich der absolute Ladezustand als $\text{SOC}_j \cdot Q_0$ berechnet.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Berechnung der echten Ruhespannung U_{00} aus der gemessenen Ruhespannung U_0 , die Spannungslage, der zeitliche Spannungsverlauf und die Dauer der Ruhepause berücksichtigt wird.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Messung der Ruhespannung U_0 während der Ruhepausen in festen vorgegebenen Abständen erfolgt.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die berechneten echten Ruhespannungswerte U_{00} durch Korrekturfaktoren auf eine vorgegebene Temperatur normiert werden.

5. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die echte Ruhespannung U_{00} aus Messungen der Leerlaufspannung U_0 nach einer Mindestruhezeit von ca. 2 Stunden erfolgt.

6. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß durch eine Hochstrombelastung des Akkumulators der Innenwiderstand R_i als Quotient aus den Differenzen der Spannungen und der Ströme vor und während der Hochstrombelastung ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß aus dem Innenwiderstand R_i , einer vorgegebenen Temperatur und dem zuletzt ermittelten Ladezustand eine Ruhespannung für einen späteren Zeitpunkt prognostiziert wird, aus der mit dem bekannten zum Start des Motors notwendigen Strom eine Aussage über die Startfähigkeit der Batterie abgeleitet wird.